Effets de la salinité et de la température sur les paramètres hématologiques et sur l'osmolalité plasmatique de l'anguille jaune, *Anguilla anguilla* maintenue à jeun

par

Nabila GHAZALI*, Dhouha BOUSSOUFA, Imen RABEH, Khaooula TELAHIGUE, Imene CHETOUI, Med Ali BEN SMIDA, Wiem MASMOUDI & M'hamed EL CAFSI (1)



Received: 20 May 2012
Accepted: 22 May 2013
Editor: E. Dufour

Key words
Anguillidae
Anguilla anguilla
Haematology
Osmolality
Salinity
Temperature
Fasting

Résumé. – Les réponses de certains paramètres hématologiques et plasmatiques ont été suivies pour l'anguille européenne de stade jaune [*Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)] maintenue à jeun et acclimatée en eau douce et en eau de mer à trois températures : basse (4°C), ambiante (16 à 18°C) et élevée (28°C), des conditions subies par l'anguille jaune pendant sa phase continentale. Le nombre d'érythrocytes, le taux d'hématocrite, la concentration en hémoglobine et l'osmolalité plasmatique ont été déterminés, et les constantes érythrocytaires (volume globulaire moyen, teneur globulaire moyenne en hémoglobine et concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine) ont été calculées. Les paramètres hématologiques étudiés restent constants sous l'effet de la salinité en état de jeûne. A température élevée, le nombre d'érythrocytes augmente significativement, indépendamment de la salinité, sans pour autant influencer les valeurs des constantes érythrocytaires qui témoignent d'une stabilité de l'état physiologique des anguilles jaunes sous l'effet des trois températures étudiées. L'osmolalité plasmatique des anguilles acclimatées en eau de mer est plus élevée que celle des anguilles acclimatées en eau douce pour toutes les conditions étudiées. La variation thermique à 4°C ou à 28°C augmente l'osmolalité plasmatique en eau douce et en eau de mer chez l'anguille jaune par rapport à la température ambiante.

Abstract. – Salinity and temperature effects on some haematological parameters and plasma osmolality of fasted yellow eel, *Anguilla anguilla*.

The responses of haematological parameters and plasma osmolality to variations in temperature and salinity were followed for the European eel [*Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)] at yellow stage. Fish were maintained under food deprivation and experimented environmental variations that they are susceptible to face during their continental life and at silver stage during their migratory way. The number of red blood cells, haematocrit, haemoglobin concentration and plasma osmolality were determined. Erythrocytes parameters were also calculated: mean corpuscular volume, mean corpuscular haemoglobin concentration and mean corpuscular haemoglobin. Yellow eels were captured in the Gulf of Tunis and then maintained in the laboratory either in freshwater (0.5 ‰) or seawater (35 ‰) at low (4°C), ambient (16-18°C) and high (28°C) temperature. Haematological parameters and plasma osmolality were evaluated after 30 and 60 days of experiment. All haematological parameters were stable under variations of salinity. At high temperature, the number of red blood cells increased significantly in freshwater and seawater without influencing the erythrocytes constant values indicating a stability of the physiological state of yellow eels under thermal stress. During the yellow stage, the European eel has a strong capacity to adapt and to stabilize the values of haematological parameters that are usually used to indicate physiological fish disturbance. Plasma osmolality of yellow eels acclimated in seawater was higher than those acclimated in freshwater conditions for all experimental conditions. Fasting caused an increase in plasma osmolality in seawater, while no significant variations were observed in freshwater. Low and high temperature also increased plasma osmolality in freshwater and seawater compared to ambient temperature. This variability in plasma osmolality due to fasting, salinity, and temperature variations depends on the osmotic regulation, which controls the ionic composition and the organic content of plasma. This study shows that the fasted yellow eel has no difficulty to cope with salinity and temperature changes due to the regulation of haematological parameters and plasma osmolality.

Les paramètres hématologiques, les fluctuations du nombre des érythrocytes, du taux d'hématocrite, de la concentration en hémoglobine, et d'autres composants principaux comme les hormones et les éléments ioniques et organiques, sont utilisés, chez les poissons téléostéens, comme indicateurs du stress physiologique engendré par des facteurs endogènes ou exogènes (Steinhagen *et al*., 1990 ; Adams *et al*., 1993 ; Chen *et al*., 1995 ; Houston, 1997 ; Fernandes et Mazon, 2003). L'anguille européenne [*Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758)] est une espèce catadrome euryhaline ayant un grand pouvoir osmorégulateur. Sa migration des eaux douces vers les eaux marines et océaniques (Ellerby *et al*., 2001) déclenche un état de jeûne (Fontaine et Olivereau, 1962 ; Tesch, 2003 ; Van Ginneken et Maes, 2005) qui s'accompagne de plusieurs modifications comportementales (du stade sédentaire au stade migratoire) et environnementales (pression hydrostatique élevée, transfert de l'eau douce à l'eau de mer, variation de la température et de la luminosité). Avant leur départ migratoire, les anguilles jaunes immatures se transforment en anguilles argentées, un phénomène associé à plu-

(1) Unité de physiologie et d'écophysiologie des organismes aquatiques, Département des sciences biologiques, Faculté des sciences de Tunis, Université Tunis El Manar, 2092 Tunis, Tunisie. [d.boussoufa@yahoo.fr] [rabehimen@yahoo.fr] [k_telahigue@yahoo.fr] [chetouiimene@yahoo.fr] [ali.bensmida@laposte.net] [maswiem@lycos.com] [mhamed.elcafsi@gmail.com]
* Corresponding author [ghazalinabila@yahoo.fr]

sieurs modifications morphologiques comme l'augmentation du diamètre oculaire et de la taille de la nageoire pectorale (Durif *et al.*, 2000) et physiologiques comme par exemple l'augmentation du volume des muscles qui deviennent plus gras et plus riches en mitochondries (Lewander *et al.*, 1974 ; Pankhurst, 1982), du taux d'hématocrite et de la concentration en hémoglobine (Johansson-Sjobeck *et al.*, 1974). Plusieurs travaux se sont intéressés à l'étude des effets physiologiques de certains facteurs environnementaux (salinité, température, jeûne) auxquels est soumise l'anguille lors de son parcours migratoire (Larsson et Lewander, 1973 ; Johansson-Sjobeck *et al.*, 1975 ; Fontaine, 1994 ; Olivereau et Olivereau, 1997 ; Caruso *et al.*, 2010). Ces travaux ont révélé que l'anguille est une espèce potentiellement adaptable aux conditions environnementales difficiles et apte à vivre sans s'alimenter pendant une longue période. L'objectif du présent travail est d'évaluer l'effet stressant induit par des différences de température et de salinité chez les anguilles jaunes maintenues à jeun afin de tester les possibilités d'adaptation de cette espèce lors des migrations eau douce / eau salée durant la phase continentale. Pour se faire, les paramètres hématologiques ont été analysés et l'osmolalité plasmatique a été déterminée sur 64 anguilles pêchées dans le lac de Tunis puis maintenues en expérimentation pendant 60 jours.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Échantillonnage

Les anguilles ont été pêchées en février 2007 dans le lac de Tunis (situé au niveau du golfe de Tunis : 36°48'N ; 10°12' E) à une salinité 21‰, à l'aide de filets à petites mailles. Seules les anguilles au stade jaune (immatures) de tailles ± homogènes (30 ± 2 cm) (Durif *et al.*, 2005) ont été sélectionnées pour notre étude. Ces anguilles ont été installées et suivies dans les bassins de l'Unité de recherche de physiologie et d'écophysiologie des organismes aquatiques à la Faculté des sciences de Tunis.

Conditions expérimentales

Les individus ont été répartis en deux lots et dans de l'eau douce ou de l'eau de mer. Tous les individus ont été soumis à un jeûne durant toute la période expérimentale. Pendant une première période d'un mois les poissons ont été maintenus à température ambiante (TA : 16 à 18°C) dans des bassins d'une capacité de 200 L (80 cm x 50 cm x 50 cm) avec une photopériode de 12 h : 12 h. La salinité et la concentration en oxygène dissout ont été mesurées quotidiennement. La saturation en oxygène dissout a été maintenue ≥ 80%. Afin de maintenir une salinité de 0,5‰ dans les bassins d'eau douce et de 35‰ dans les bassins d'eau de mer, de l'eau de robinet déchlorée ou du sel marin naturel fourni par SOSASEL (Société SAHARA Sel) ont été ajoutés.

Au bout d'un mois d'acclimatation, huit individus de chaque bassin ont été sacrifiés. Les autres individus ont été répartis en trois lots pour chaque salinité et maintenus soit à TA, soit acclimatés à une température basse (TB : 4 à 5°C) ou élevée (TE : 28°C). La température de l'eau a été augmentée ou diminuée progressivement (2°C chaque 2 h) jusqu'à atteindre la température désirée. A la fin de la deuxième période, huit poissons ont été à nouveau sacrifiés pour chaque condition expérimentale.

Tous les poissons sacrifiés ont été préalablement anesthésiés avec 1:10 (v:v) d'huile de clou de girofle dissous dans l'éthanol à 70% à raison de 2 ml d'anesthésique dans un volume de 5 L d'eau.

Prélèvements

Les prélèvements sanguins ont été effectués à partir de la veine caudale au niveau de l'arc hémal à l'aide d'une seringue rincée au préalable par une solution d'héparine ammoniacal à 25.000 U / 3 ml NaCl à 0,9%. 20 μl du sang recueilli dans des tubes à EDTA ont été utilisés pour le dosage de l'hémoglobine. Le plasma a été séparé des cellules sanguines par centrifugation à 10 000 tours /min pendant 3 minutes.

Techniques d'analyses sanguines

Le taux d'hématocrite (Htc) (% globules rouges) a été déterminé à l'aide d'un tube capillaire hépariné (tube à hématocrite). Après centrifugation à l'aide d'une centrifugeuse microhématocrite à 8000 tours/min pendant 10 min, les valeurs ont été directement lues sur l'échelle graduée du rotor et exprimées en ml / 100 ml de sang (Blaxhall et Daisley, 1973). Le dénombrement érythrocytaire a été réalisé sur du sang dilué au 1/200e avec du liquide de Marcano en utilisant la cellule hématimétrique de Malassez (Hesser, 1960). Le nombre d'érythrocytes (Nb hématies) a été exprimé en 10^6/ mm^3. L'hémoglobine (Hb) a été dosée par transformation en cyanométhémoglobine sous l'action de ferricyanure de potassium et de cyanure de potassium (Blaxhall et Daisley, 1973). L'Hb a été exprimée en gramme par litre (g/l). L'osmolalité du plasma, valeur proportionnelle au nombre total d'ions et de particules non dissociées présentes dans le sang, a été mesurée par un micro-osmomètre (Hermann Roebling, TY 13DR) et a été exprimée en mOsm. kg^{-1} H_2O plasmatique.

Les constantes érythrocytaires ont été calculées selon les formules de Seiverd (1964) :

- Volume Globulaire Moyen (μm^3) : VGM = [Htc (%) x 10] / [Nb Érythrocytes (10^6/ mm^3)]
- Teneur Globulaire Moyenne en Hb (picogramme pg) : TGMH = [Hb (g/l)] / [Nb Érythrocytes (10^6/ mm^3)]
- Concentration corpusculaire moyenne de l'Hb (%) : CCMH = [Hb (g/l) x 10] / [Htc (%)]

Analyse statistique

Les variances (ANOVA) ont été déterminées avec le logiciel Statistica 5.0. La différence entre deux moyennes a été considérée comme significative pour toute valeur du seuil de signification p < 0,05.

RÉSULTATS

Effets de la salinité

L'effet de la salinité du milieu sur les paramètres hématologiques de l'anguille européenne non alimentée au stade jaune a été suivi après 30 jours et 60 jours d'acclimatation soit en eau douce soit en eau de mer (Tab. I). Le nombre d'érythrocytes, le taux d'hématocrite et la teneur en hémoglobine restent constants sans différence significative entre les milieux de salinités différentes ou en fonction du temps d'acclimatation. Les valeurs calculées de VGM, de TGMH et de CCMH ne montrent pas de variation significative dans ces conditions d'acclimatation.

Les valeurs d'osmolalité plasmatiques enregistrées en eau douce sont significativement supérieures à celles qui ont été enregistrées en eau de mer pour les deux périodes d'acclimatation (Fig. 1). L'osmolalité plasmatique a significativement augmenté en eau de mer entre le 1er et le 2e mois. En revanche, en eau douce, l'osmolalité plasmatique est restée statistiquement constante durant toute la période expérimentale.

Effets de la température

Le tableau II montre la variation des paramètres hématologiques en eau douce et en eau de mer aux trois températures après 30 ou 60 jours d'expérimentation. La teneur en Hb et la valeur d'Htc restent constantes après variation de la température alors que le nombre d'érythrocytes augmente significativement chez les anguilles maintenues à 28°C en eau douce (p < 0,05) et en eau de mer (p < 0,01). Bien que le nombre d'érythrocytes montre certaines variations significatives, les valeurs de VGM, TGMH et CCMH ne varient pas sous l'effet des changements de température.

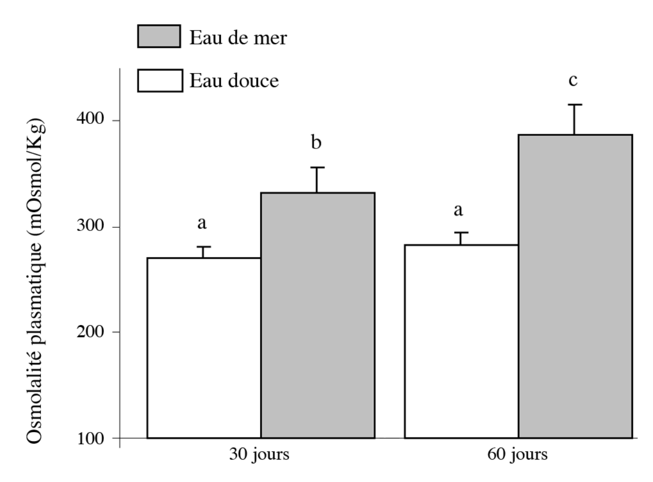


Figure 1.- Effets combinés de la salinité du milieu et du jeûne sur l'osmolalité plasmatique chez l'anguille jaune acclimatée pendant 30 et 60 jours en eau douce et en eau de mer. Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type. Le nombre d'individus pour chaque condition est égal à 8. Les différentes lettres indiquent une différence significative (ANOVA, p < 0,05). *[Combined effect of salinity and starvation on plasma osmolality of yellow eel* A. anguilla *during 30 and 60 days of acclimatization on seawater and freshwater and under food deprivation. Values are means ± standard deviation. Data values with different letters are significantly different (one-way analysis of variance, p < 0.05, N = 8 fish at each salinity).]*

L'osmolalité plasmatique en eau douce est significativement moins élevée (p < 0,05) qu'en eau de mer indépendamment de la variation de la température (Fig. 2). En eau douce l'osmolalité plasmatique présente une valeur significativement moins élevée à température ambiante qu'à 4°C (p < 0,01) et 28°C (p < 0,01). D'autre part l'osmolalité plasmatique à température basse, en eau douce, est significativement moins élevée (p < 0,01) que celle relevée à température élevée. De même en eau de mer, l'osmolalité plasmatique présente une valeur statistiquement faible à température ambiante par rapport à la température basse et élevée. En revanche, les valeurs de l'osmolalité plasmatique en eau de mer à 28°C et à 4°C sont statistiquement similaires.

Tableau I. - Variations des paramètres hématologiques de l'anguille jaune maintenue à jeun et acclimatée en eau douce et en eau de mer pendant deux mois : 30 et 60 j. Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type. Nombre d'individus pour chaque condition est égal à 8. Les différentes lettres indiquent la différence significative (ANOVA, p < 0,05). *[Variation of some haematological parameters of yellow eel, maintained under food deprivation, in sea water and fresh water during 30 and 60 days. Values are means ± standard deviation. Data values with different letters are significantly different (one-way analysis of variance, p < 0.05, N = 8 fish at each salinity).]*

	Eau douce		Eau de mer	
	30 j	60 j	30 j	60 j
Nb d'érythrocytes (10^6/mm^3)	1,6 ± 0,1^a	1,6 ± 0,1^a	1,6 ± 0,1^a	1,5 ± 0,1^a
Hématocrite (%)	36,0 ± 2,9^a	33,1 ± 4,5^a	34,6 ± 4,0^a	33,0 ± 2,2^a
Hémoglobine (g/l)	80,5 ± 6,3^a	80,0 ± 8,8^a	78,3 ± 7,4^a	74,5 ± 5,5^a
VGM (μl^3)	224,7 ± 12,9^a	207,6 ± 23,9^a	220,4 ± 37,2^a	198,7 ± 30,8^a
TGMH (pg)	50,5 ± 6,2^a	50,2 ± 4,7^a	49,6 ± 5,3^a	49,7 ± 4,9^a
CCMH (%)	22,5 ± 2,6^a	24,6 ± 4,9^a	22,8 ± 2,2^a	22,6 ± 1,7^a

DISCUSSION

Cette étude a été menée dans le but d'évaluer la réponse hématologique et plasmatique de l'anguille européenne au stade jaune, face aux variations de certains facteurs éco-

Tableau II. - Variations des paramètres hématologiques de l'anguille jaune maintenue à jeun et acclimatée en eau douce et en eau de mer à trois températures différentes : TB : température basse (4 à 5°C), TA : température ambiante (16 à 18°C) et TE : température élevée (28°C). Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type. Le nombre d'individus pour chaque condition est égal à 8. Les différentes lettres indiquent la différence significative pour chaque paramètre hématologique (ANOVA, p < 0,05). *[Haematological effects of water temperature in yellow eels kept under food deprivation in seawater and freshwater. (TB: low temperature (4 to 5°C), TA: ambient temperature (16 to 18°C), TE: high temperature). Values are means ± standard deviation. Data values with different letters are significantly different (one-way analysis of variance, p < 0.05, N = 8 fish at each temperature).]*

	Eau douce			Eau de mer		
	TB	TA	TE	TB	TA	TE
Nb d'érythrocytes x 10^6/mm^3	1,5 ± 0,2^a	1,6 ± 0,1^a	1,8 ± 0,2^b	1,5 ± 0,2^a	1,5 ± 0,1^a	1,9 ± 0,2^b
Hématocrite (%)	34,0 ± 6,6^a	33,1 ± 4,5^a	36,9 ± 4,0^a	36,4 ± 4,9^a	33,0 ± 2,2^a	37,1 ± 2,9^a
Hémoglobine (g/l)	79,7 ± 7,8^a	80,0 ± 8,8^a	82,9 ± 12,0^a	76,7 ± 9,4^a	74,5 ± 5,5^a	83,4 ± 8,6^a
VGM (μl^3)	227,3 ± 51,0^a	207,6 ± 23,9^a	207,4 ± 34,6^a	242,3 ± 56,3^a	198,7 ± 30,8^a	200,2 ± 30,6^a
TGMH (pg)	53,5 ± 7,7^a	50,2 ± 4,7^a	46,9 ± 10,9^a	51,3 ± 13,1^a	49,7 ± 4,9^a	44,7 ± 5,0^a
CCMH (%)	24,6 ± 7,0^a	24,6 ± 4,9^a	22,7 ± 4,2^a	21,3 ± 3,2^a	22,6 ± 1,7^a	22,7 ± 3,6^a

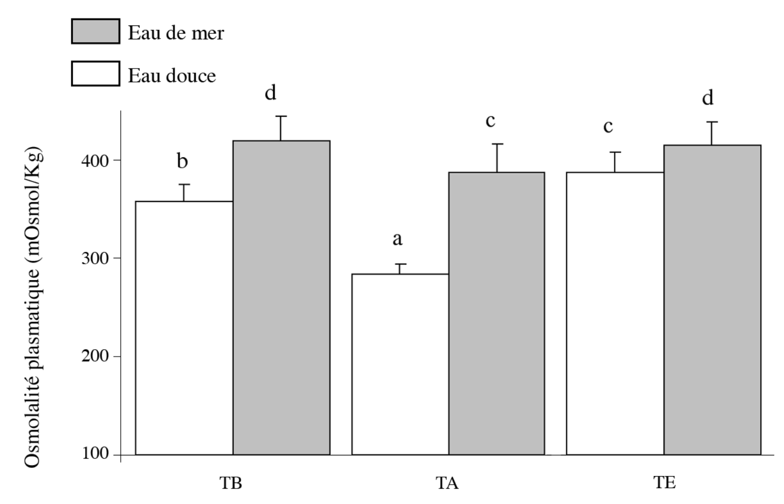


Figure 2. - Variations de l'osmolalité plasmatique chez l'anguille jaune acclimatée à trois températures différentes [TB : température basse (4 à 5°C) ; TA : température ambiante (16 à 18°C) ; TE : température élevée (28°C)] et maintenue à jeun en eau douce et en eau de mer. Les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type. Le nombre d'individus pour chaque condition est égal à 8. Les différentes lettres indiquent la différence significative (ANOVA, p < 0,05). *[Plasma osmolality values of yellow eel,* A. anguilla, *acclimated to different temperatures in seawater and freshwater under food deprivation [TB: low temperature (4 to 5°C), TA: ambient temperature (16 to 18°C), TE: high temperature (28°C)]. Values are means ± standard deviation. Data values with different letters are significantly different (one-way analysis of variance, p < 0.05, N = 8 fish at each temperature).]*

logiques combinés (salinité, jeûne et température) auxquels elle est exposée au cours des migrations lors de sa phase continentale (Daverat *et al.,* 2005 ; Tzeng *et al.,* 1997).

Paramètres hématologiques

Les paramètres hématologiques mesurés chez l'anguille européenne au stade jaune non alimentée montrent que celle-ci ne présente aucun signe de stress lié à l'acclimatation à différentes salinités durant 30 ou 60 jours. Larsson et Lewander (1973) et Caruso *et al.* (2010) ont aussi montré que l'état du jeûne durant une période respective de 150 jours et de 58 jours n'a aucun effet sur l'hématocrite et la teneur en hémoglobine chez l'anguille européenne adulte. En revanche, Sano (1962), Smirnova (1965) et Johansson-Sjobeck *et al.* (1975) trouvent que l'hématocrite augmente en réponse à une période de jeûne de 90 jours pour l'anguille du Japon (*Anguilla japonica*), 145 jours pour la lotte (*Lota lota*) et 47 jours pour l'anguille européenne.

Selon Romestand *et al.* (1983), les anguilles européennes mâles et femelles, quel que soit leur biotope, ont un nombre de globules rouges et un VGM se situant à mi-chemin entre les poissons d'eau douce et les poissons d'eau de mer, en relation avec les capacités osmorégulatrices et le caractère amphihalin de cette espèce. De plus, les valeurs des constantes sanguines des anguilles provenant du milieu marin les rapprochent du groupe des poissons marins et celles des anguilles récoltées dans les eaux douces les rapprochent des poissons d'eau douce. Cependant, l'effet du stress halin en milieu hyperosmotique se manifeste chez l'esturgeon blanc (*Acipenser transmontanus) (*Mojazi Amiri *et al*., 2009), l'esturgeon de l'Adriatique (*Acipenser naccarii*) (Martinez-Álvarez *et al*., 2002), le pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) (Tsuzuki *et al*., 2001), l'esturgeon de golfe (*Acipenser oxyrinchus* deSotoi) (Altinok *et al*., 1998) et le saumon chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) (Morgan et Iwama, 1991) par une diminution du taux d'hématocrite. D'après Martinez-Álvarez *et al*. (2002), le poisson confronté à un milieu hyperosmotique perd de l'eau d'une manière passive, ce qui engendre une diminution du taux d'hématocrite, alors que pour Mazur et Iwama (1993) l'élévation du taux d'hématocrite chez le saumon chinook (*O. tshawytscha*) en eau douce est due soit à l'augmentation du nombre de globules rouges soit par leur gonflement dans un milieu hypotonique. Après acclimatation les valeurs des paramètres hématologiques tendent à retourner à leurs valeurs initiales grâce aux mécanismes

osmorégulateurs rétablissant le volume extracellulaire et l'homéostasie interne (Martinez-Álvarez *et al.*, 2002). Ceci explique le maintien des paramètres érythrocytaires chez l'anguille européenne dans cette étude à 0,5‰ et 35‰ après 30 jours d'acclimatation. Un résultat similaire a été trouvé chez l'esturgeon de l'Adriatique (*A. naccarii*) après 20 jours d'acclimatation à une salinité de 35‰ (Martinez-Álvarez *et al.*, 2002).

Nous avons constaté une élévation du nombre d'érythrocytes face à une température élevée (28°C) qui pourrait s'expliquer par une forte demande métabolique en oxygène (Zarejabad *et al.*, 2010). Selon Kita et Itazawa (1989, 1990) et suite à une demande métabolique, la rate se contracte sous contrôle adrénergique, pour libérer dans la circulation sanguine les érythrocytes stockés (Fänge, 1992). Mais, dans le présent travail, l'augmentation significative en nombre d'érythrocytes n'a pas influencé le taux d'hématocrite et la teneur en hémoglobine à température élevée. Il est probable que les érythrocytes, qui ont augmenté en nombre, ont, en contre partie, diminué de taille globulaire tout en diminuant la concentration globulaire en hémoglobine permettant de garder cette constance du taux d'hématocrite et de la teneur en hémoglobine sanguine. Cependant, le calcul des constantes érythrocytaires nous oblige à rejeter cette hypothèse face à la stabilité du VGM et de la CCMH pour les trois températures étudiées en eau douce et en eau de mer. Cela suggère que l'anguille jaune semble suivre des stratégies physiologiques pour garder son homéostasie interne en stabilisant toutes les constantes érythrocytaires, le taux d'hématocrite et la teneur en hémoglobine. Le maintien du poisson chat (*Rhamdia quelen*) à une température de 31°C pendant 3 semaines n'a pas d'effet sur son taux d'hématocrite et sur sa teneur en hémoglobine (Lermen *et al.*, 2004) alors que l'augmentation de la température induit une augmentation significative du taux d'hématocrite chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) (Valenzuela *et al.*, 2008) et chez les juvéniles du grand esturgeon (*Huso huso*) (Zarejabad *et al.*, 2010). D'autre part, Sala-Rabanal *et al.* (2003) montrent, chez la daurade royale (*Sparus aurata*), que le taux d'hématocrite ne change pas à basse température et face au jeûne qui s'en suit. Ainsi, nos résultats montrent que l'abaissement de la température à 4 °C en eau douce et en eau de mer semble ne pas avoir d'effet sur les paramètres hématologiques de l'anguille jaune maintenue à jeun.

L'osmolalité plasmatique

Sous l'effet de la température et de l'état de jeûne, l'osmolalité plasmatique présente toujours une valeur significativement plus faible en eau douce qu'en eau de mer. Pour son osmorégulation en eau de mer, l'anguille a besoin d'activer des mécanismes physiologiques pour retenir l'eau interne et éviter l'effet déshydratant de l'eau de mer alors qu'en eau douce ou en eau continentale elle lutte pour conserver la salinité de son milieu intérieur. Cette régulation s'effectue par les principaux tissus osmorégulateurs : branchies, tractus gastro-intestinal et les reins (Cutler et Cramb, 2000). La différence d'osmolalité plasmatique entre les individus des deux milieux semble ne pas représenter un état stressant pour l'anguille jaune étant donné que les paramètres hématologiques sont stables. Ce même résultat a été signalé par Sharratt *et al.* (1964) et Rankin (2009), respectivement chez l'anguille européenne au stade argenté et au stade jaune, qui ont montré que la composition osmotique des individus acclimatés en eau douce est inférieure à celle des individus acclimatés en eau de mer. Allen et Cech (2007) et Sardella et Külts (2009) ont aussi montré qu'après acclimatation, les valeurs de l'osmolalité plasmatique de l'esturgeon vert juvénile (*Acipenser medirostris*) enregistrées en eau douce sont significativement inférieures à celles enregistrées en eau salée. Allen et Cech (2007) ont établi que cette différence d'osmolalité plasmatique est d'autant plus faible que l'esturgeon vert évolue en taille et en âge jusqu'à atteindre une similarité de la composition ionique plasmatique après acclimatation à différentes salinités, témoignant d'une acquisition du pouvoir osmorégulateur avec l'âge chez cette espèce. Dans ce même contexte, pour plusieurs autres poissons comme la sole sénégalaise (*Solea senegalensis*) (Arjona *et al.*, 2007) et l'esturgeon (*A. naccaarii*) (Martinez-Álvarez *et al.*, 2002) l'osmolalité plasmatique, bien qu'elle tende à augmenter au cours de l'acclimatation dans un milieu hyperosmotique, retrouve les valeurs initiales à la fin de l'acclimatation sous le contrôle de plusieurs hormones comme le cortisol ou les catécholamines (Fontaine, 1994 ; Tsuzuki *et al.*, 2001).

Nos résultats montrent aussi que sous l'effet de la température élevée (28°C) et de la basse température (4°C), l'osmolalité plasmatique de l'anguille jaune augmente en eau douce et en eau de mer par comparaison à celle de la température ambiante. Ainsi, Zarejabad *et al.* (2010) déterminent que l'augmentation de la température induit une augmentation de la concentration plasmatique en Ca^{2+} chez l'esturgeon (*H. huso*). Houston et McCarty (1978) montrent, chez la truite arc-en-ciel *(Salmo gairdneri),* que le K^+ plasmatique augmente à température élevée, alors que les ions Na^+ et Cl^- ne sont pas affectés. Cependant Sala-Rabanal *et al.* (2003) montrent qu'à basse température, la daurade royale (*Sparus aurata*) témoigne d'une diminution de la teneur en potassium (K^+) et en calcium (Ca^{2+}), alors que Mizuho *et al.* (1995) montrent que l'osmolalité plasmatique est significativement plus élevée pendant l'hiver que pendant l'été chez les espèces suivantes : *Liopsetta pinnijiasciata*, *Myoxocephalus brandti*, *Hypomesus pretiosus japonicus* et *Zoarces elongatus*. Mizuho *et al.* (1995) montrent aussi que la concentration plasmatique en Na^+ augmente en hiver par rapport à l'été mais suggèrent que l'élévation de l'osmolalité plasmatique en hiver est plutôt due à l'augmentation au niveau du plas-

ma de protéine antigel qu'à l'augmentation plasmatique du sodium (Na^+) et d'éventuels autres ions. Selon Connors *et al*. (1978), la teneur en glucose plasmatique (osmolyte organique ; Nordlie, 2009) diminue significativement à une température élevée (21 à 26°C) par rapport à une température de 15 à 20°C. Ces auteurs pensent que le niveau élevé du glucose plasmatique à la température la moins élevée témoigne du ralentissement métabolique chez la truite arc-en-ciel (*S. gairdneri*) soumise à cette condition. Ainsi l'augmentation de l'osmolalité chez l'anguille jaune en réponse aux variations de température pourrait être due à l'augmentation au niveau du plasma soit de la teneur en osmolyte ionique, soit de la teneur en osmolyte organique, ou encore aux deux à la fois. Ceci reste à confirmer par l'analyse de la composition plasmatique chez des anguilles jaunes acclimatées à des temps courts et intermédiaires sous les effets de la température et de la salinité.

En conclusion, nous pouvons dire que l'anguille jaune maintenue à jeun semble avoir un fort pouvoir adaptatif vis-à-vis de la salinité et de la température, des facteurs environnementaux susceptibles d'être rencontrés au cours des migrations saisonnières eau douce / eau de mer ou même au cours de leur vie estuarienne.

RÉFÉRENCES

ADAMS S.M., BROWN A.M. & GOEDE R.W., 1993. - A quantitative health assessment index for rapid evaluation of fish condition in the field. Trans. *Am. Fish. Soc*., 122: 63-73.

ALLEN P. J. & CECH J.J., 2007. - Age/size effects on juvenile green sturgeon, *Acipenser meditoris*, oxygen consumption, growth, and osmoregulation in saline environments. *Environ. Biol. Fish*, 79: 211-229.

ALTINOK I., GALLI S.M. & CHAPMAN F.A., 1998. - Ionic and osmotic regulation capabilities of juvenile Gulf of Mexico Sturgeon, *Acipenser oxyrinchus* de Sotoi. *Comp. Biochem. Physiol.* [A], 120: 609-616.

BLAXHALL P.C. & DAISLEY K.W., 1973. - Routine haematological methods for use with fish blood. *Fish Biol*., 5: 771-781.

CARUSO G., MARICCHIOLO G., MICALE V., GENOVESE L., CARUSO R. & DENARO M.G., 2010. - Physiological responses to starvation in the European eel (*Anguilla anguilla*): effects on haematological, biochemical, non-specific parameters and skin structures. *Fish. Physiol. Biochem*., 36: 71-83.

CHEN G.R., SUN Y.H. & CHANG C.F., 1995. - Characteristics of blood in common carp, *Cyprinus caprio*, exposed to low temperatures. *J. Appl. Aquacult*., 5(3): 21-31.

CONNORS T.T., SCHNEIDER M.J., GENOWAY R.G. & BARRACLOUGH S.A., 1978. - Effects of acclimation temperature on plasma levels of glucose and lactate in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Exp. Zool*., 206: 443-449.

CUTLER C.P. & CRAMB G., 2000. - Water transport and aquaporin expression in Wsh. *In*: Molecular Biology of Water and Solute Transport (Hophman S. & Nielsen S., eds), pp. 33-441. London: Kluwer Academic/Plenum.

DAVERAT F., TOMAS J., LAHAYE M., PALMER M. & ELIE P., 2005. - Tracking continental habitat shifts of eels using otolith Sr/Ca ratios: validation and application to the coastal, estuarine and riverine eels of the Gironde-Garonne-Dordogne watershed. *Mar. Freshw. Res*., 56: 619-627.

DURIF C., ELIE P., DUFOUR S., MARCHELIDON J. & VIDAL B., 2000. - Analysis of morphological and physiological parameters during the silvering process of the European eel (*Anguilla anguilla*) in the lake of grand-lieu (France). *Cybium*, 24(3, Suppl.): 63-74.

DURIF C., DUFOUR S. & ELIE P., 2005. - The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. *J. Fish Biol*., 66: 1025-1043.

ELLERBY D.J., SPIERTS I.L.Y. & ALTRINGHAM J.D., 2001. - Slow muscle power output of yellow- and silver- phase European eels (*Anguilla anguilla* L): changes in muscle performance prior to migration. *J. Exp. Biol*., 204: 1369-1376.

FÄNGE R., 1992. - Fish blood cells. *In*: The Cardiovascular System (Hoar W.S., Randall D.J. & Farrell A.P., eds). *Fish Physiol*., Part B, 12: 1-54. London: Academic Press Inc.

FERNANDES M.N. & MAZON A.F., 2003. - Environmental Pollution and fish gill morphology. *In*: Fish Adaptation (Val A.L. & Kapoor B.G., eds), pp. 203-231. Enfield: Science Publisher.

FONTAINE M. & OLIVEREAU M., 1962. - Nutrition et sexualité chez les poissons. *Ann. Nutr. Aliment.,* 16: 125-162.

FONTAINE Y.A., 1994. - L'argenture de l'anguille : métamorphose, anticipation, adaptation. *Bull. Fr. Pêche Piscic*., 335: 171-186.

HESSER E.F., 1960. - Methods for routine fish hematology. *Prog. Fish-Cult*. 22(4): 164-171.

HOUSTON A.H., 1997. - Review: Are the classical haematological variables acceptable indicators of fish health? *Trans. Am. Fish. Soc*., 126(6): 879-894.

HOUSTON A.H. & McCARTY L.S., 1978. - Carbonic anhydrase (acetazolamide-sensitive esterase) activity in the blood, gill and kidney of the thermally acclimated rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Exp. Biol*., 73:15-27.

JOHANSSON-SJOBECK M.L., DAVE G., LARSSON A., LEWANDER K. & LIDMAN U., 1974. - Metabolic and hematological studies on the yellow and silver phases of the European eel, *Anguilla anguilla* L. III. Hematology. *Comp. Biochem. Physiol. B*, 47: 593-599.

JOHANSSON-SJOBECK M. L., DAVE G., LARSSON A., LEWANDER K. & LIDMAN U., 1975. - Metabolic and haematological effects of starvation in the European eel *Anguilla anguilla* L. II. Hematology. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 52: 431-434.

KITA J. & ITAZAWA Y., 1989. - Release of erythrocytes from the spleen during exercise and splenic construction by adrenaline infusion in rainbow trout. *Jpn. J. Ichthyol*., 36(1): 48-52.

KITA J. & ITAZAWA Y., 1990. - Effects of adrenaline on the blood flow through the spleen of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol. A*, 95 (4): 591-595.

LARSSON A. & LEWANDER K., 1973. - Metabolic effects of starvation in the eel, *Anguilla anguilla* L. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 44: 367-374.

LERMEN C.L., LAPPE R., CRESTANI M., PIMENTEL VIEIRA V., GIODA C.R., CHITOLINA SHETINGER M.A., BALDISSEROTTO B. MORAES G. & MORSH V.M., 2004. - Effect of different temperature regimes on metabolic and blood parameters of silver catfish *Rhamdia quelen*. *Aquaculture*, 239: 497-507.

LEWANDER K., DAVE G., JOHANSSON-SJOBECK M.L., LARSSON A. & LIDMAN U., 1974. - Metabolic and hematological studies on the yellow and silver phases of the European eel, *Anguilla anguilla* L. I. Carbohydrate, lipid, protein and inorganic ion metabolism. *Comp. Biochem. Physiol. B*, 47: 571-581.

MARTINEZ-ÁLVAREZ R.M., HIDALGO M.C., DOMEZIAN A., MORALES A.E., GARCIA-GALLEGO M. & SANZ A., 2002. - Physiological changes of sturgeon *Acipenser naccarii* caused by increasing environmental salinity. *J. Exp. Biol*., 205: 3699-3706.

MAZUR C.F. & IWAMA G.K., 1993. - Effects of handling and stoking density on hematocrit, plasma cortisol and survival in wild and hatchery-reared Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*), *Aquaculture*, 112: 291-299.

MIZUHO O., YOKO W. & MITSUO F., 1995. - Seasonal difference of the plasma osmolalities of some teleosts in high-latitude cold water in Japan. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol*., 8:177-181.

MOJAZI AMIRI B., BAKER D.W., MORGAN J.D. & BRAUNER C.J., 2009. - Size dependant early salinity tolerance in tow sizes of juvenile white sturgeon *Acipenser transmontanus*. *Aquaculture*, 286: 121-126

MORGAN J.D. & IWAMA G.K., 1991. - Effects of salinity on growth, metabolism and ion regulation in juvenile rainbow trout and steelhead trout (*Oncorhynchus myskiss*) and fall Chinook salmon (*Onchorhynchus tshawytscha*). *Can. J. Fish Aquat. Sci*., 48: 2083-2094.

NORDLIE F.G., 2009. - Environmental influences on regulation of blood plasma/serum components in teleost fishes: a review. *Rev. Fish Biol. Fish.,* 19: 481-564.

OLIVEREAU M. & OLIVEREAU J.M., 1997.. - Long-term starvation in the European eel: general effects and responses of pituitary growth hormone-(GH) and somatolactine-(SL) secreting cells. *Fish Physiol. Biochem*., 17: 261-269.

PANKHURST N.W., 1982. - Changes in body musculature with sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *J. Fish Biol*., 21: 417-428.

RANKIN J.C., 2009. - Acclimation to sea water in the European eel *Anguilla anguilla*: effects of silvering. *In*: Spawning Migration of the European Eel: Reproduction Index, a Useful Tool for Conservation Management (Van Den Thillart G., Dufour S. & Rankin J.C., eds), pp. 129-145. Berlin: Springer.

ROMESTAND B., HALSBAND E., BRAGONI G., KNEZEVIC B., MARIC D. & PROCHNOW F., 1983. - Étude hématologique comparée des constantes érythrocytaires de quelques poissons marins et d'eaux douces. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit*., 46(2): 147-156.

SALA-RABANAL M., SANCHEZ J., IBARAZ A., FERNANDEZ-BORRAS J., BLASCO J. & GALLARDO M.A., 2003. - Effects of low temperatures and fasting on hematology and plasma composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Fish Physiol. Biochem*., 29: 105-115.

SANO T., 1962. - Haematological studies of the culture fishes in Japan. 6. Variation in blood constituents of Japanese eel, *Anguilla japonica*, during starvation. *J. Tokyo Univ. Fish*. 48: 105.

SARDELLA B.A. & KÜLTS D., 2009. - Osmo-and ionoregulatory responses of green sturgeon (*Acipenser medirostris*) to salinity acclimation. *J. Comp. Physiol. B*., 179: 383-390.

SEIVERD C.E., 1964. - Haematology for medical technologist's. 3rd edit., 946 p. Philadelphia: Lea & Febiger.

SHARRATT B.M., CHESTER JONES I. & BELLAMY D., 1964. - Water and electrolyte composition of the body and renal function of the eel (*Anguilla anguilla* L.). *Comp. Biochem Physiol*., 11:9-18.

SMIRNOVA L.J., 1965. - Blood indices of the turbot during prolonged total fasting and subsequent feeding. *Dokl. Akad. Sci. USSR Biol. Sci. Sect*., 160: 107-109.

STEINHAGEN D., KRUSE P. & KÖRTING W., 1990. - Some haematological observations on carp *Cyprinus carpio* L., experimentally infected with *Trypanoplasma borelli* Laveran & Mesnil, 1901 (Protozoa: Kitenoplastida). *J. Fish Dis*., 14: 157-162.

TESCH F.S., 2003. - The Eel. 3rd edit., 408 p. Oxford: Blackwell Publishing.

TSUZUKI M.Y., OGAWA K., STRÜSSMANN C.A., MAITA M. & TAKASHIMA F., 2001. - Physiological responses during stress ans subsequent recovery at different salinities in adult pejerrey *Odontesthes bonariensis*. *Aquaculture*, 200: 349-362.

TZENG W.N., SEVERIN K.P. & WICKSTRÖM H., 1997. - Use of otolith microchemistry to investigate the environmental history of European eel *Anguilla anguilla*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 149: 73-81.

VALENZUELA A.E., SILVA V.M. & KLEMPAU A.E., 2008. - Effects of different artificial photoperiods and temperatures on haematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiol. Biochem*., 34: 159-167.

VAN GINNEKEN V. & MAES G.E., 2005. - The European eel (*Anguilla anguilla* Linnaeus), its lifecycle, evolution, and reproduction: a literature review. *Rev. Fish Biol. Fish*., 15: 367-398.

ZAREJABAD A.M., SUDAGAR M., POURALIMOTLAGH S. & BASTAMI K.D., 2010. - Effects of rearing temperature on haematological and biochemical parameters of great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1758) juvenile. *Comp. Clin. Pathol*., 19: 367-371.